



Docket No. 1232-5081

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): MIYAKE, et al.

Serial No.: 10/618,112

Group Art Unit: 2877

Confirmation No. 4097

Examiner: TBA

Filed: July 11, 2003

For: OPTICAL MEASURING DEVICE

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Mail Stop
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

I hereby certify that the attached:

1. Claim to Convention Priority w/1 document
2. Certificate of Mailing
3. Return postcard receipt

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

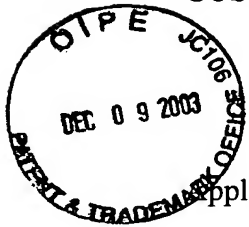
Dated: December 5, 2003

By: _____

Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant(s): MIYAKE, et al.

Serial No.: 10/618,112

Group Art Unit: 2877

Confirmation No. 4097

Examiner: TBA

Filed: July 11, 2003

For: OPTICAL MEASURING DEVICE

CLAIM TO CONVENTION PRIORITY

Mail Stop _____
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

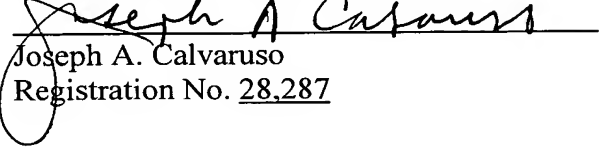
Application(s) filed in: Japan
In the name of: Canon Kabushiki Kaisha
Serial No(s): 2002-204233
Filing Date(s): July 12, 2002

- ☒ Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.
- ☐ A duly certified copy of said foreign application is in the file of application Serial No. _____, filed _____.

Dated: December 5, 2003

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

By:


Joseph A. Calvaruso
Registration No. 28,287

Correspondence Address:
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 7 月 1 2 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 0 4 2 3 3
Application Number:

[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 2 0 4 2 3 3]

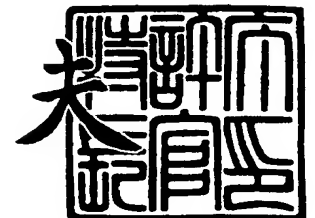
出 願 人 キヤノン株式会社
Applicant(s):



2 0 0 3 年 7 月 2 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 4755012

【提出日】 平成14年 7月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 27/00

【発明の名称】 測定装置

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 三宅 明

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 正木 文太郎

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

【識別番号】 100086818

【弁理士】

【氏名又は名称】 高梨 幸雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009623

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703877

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
【発明の名称】 測定装置
【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入射される光束を複数の光束に回折し、このうち 0 次回折光を試料に導光し、 n 次回折光 (n は 0 以外の整数) を参照光検出用の光検出器に導光する回折格子を含むビーム強度モニタを用いて該試料の特性を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項 2】 前記回折格子からの n 次回折光を前記参照光検出用の光検出器に集光する集光ミラーを有していることを特徴とする請求項 1 の測定装置。

【請求項 3】 前記集光ミラーは、凹面トロイダルミラー又はシリンドリカルミラー、球面ミラー、回転楕円面ミラーであることを特徴とする請求項 2 の測定装置。

【請求項 4】 前記集光ミラーへの入射光の中心軸と反射光の中心軸とで定まる平面内において該集光ミラーは前記回折格子の中心と前記参照光検出用の光検出器の中心とは、略共役となるようにしていることを特徴とする請求項 2 又は 3 の測定装置。

【請求項 5】 前記回折格子はラミナー型又はブレード型の平面回折格子であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項の測定装置。

【請求項 6】 光源と、該光源からの光束を分光し所定の波長の光束を出射する分光器と、該分光器からの光束を複数の光束に回折する回折格子と、該回折格子からの回折光のうち n 次回折光 (n は 0 以外の整数) を参照光検出用の光検出器に導光する集光ミラーと、

該回折格子からの 0 次回折光であって試料を介した光を検出する信号光検出用の光検出器と、

を有し、

該参照光検出用の光検出器と該信号光検出用の光検出器からの出力信号を用いて、該試料の特性を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項 7】 前記分光器の光出射口と前記回折格子の中心とを略共役関係とする曲面反射鏡を有していることを特徴とする請求項 6 の測定装置。

【請求項 8】 前記集光ミラーへの入射光の中心軸と反射光の中心軸とで定まる平面内において前記回折格子の中心と前記参照光検出用の光検出器の中心は、略共役であることを特徴とする請求項 6 又は 7 の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、測定装置に関し、例えば X 線・軟 X 線、EUV 光（極端紫外光）を対象とした光学素子の反射率や透過率等の光学特性を測定する際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

近年の X 線・軟 X 線、EUV 等の極短波長の光を対象とした半導体素子の製造装置が種々と提案されている。それに伴いこれらの製造装置に用いる光学素子の光学特性を測定する測定装置も種々と提案されている。

【0003】

例えば軟 X 線を試料に照射して試料の特性（物理特性、化学特性）を評価する測定装置としては、たとえば、ミラーの反射率やフィルタの透過率を測定する測定装置がある。この測定装置では試料に単色すなわち単一の波長の光を照射し、試料で反射した光の強度や試料を透過した光の強度を計測している。そのほかには、光電子分光装置や、蛍光 X 線分析装置など、光と試料との相互作用を検出する測定装置が種々な分野で用いられている。

【0004】

図 12 は、極短波長の光を対象とした反射率の測定装置の概略図である。この測定装置は、光源 1、分光器 MC、集光光学系 4、入射光強度モニタ MO、試料室 TR などで構成される。光源 1 としてはシンクロトロン放射光やレーザープラズマ光源等が用いられる。これらの光源 1 からは単一の波長ではなく連続したスペクトルの光が放射される。

【0005】

分光器 MC は前置鏡 2、入口スリット S1、回折格子 3、出口スリット S2 等

から構成され単色化作用を有しており、光源 1 から放射された連続スペクトルの光の中から単一の波長の光を選別する。測定条件に応じてその波長を任意に設定したり、測定中に波長を予め定めた幅の中で走査したりできるようになっている。

【0006】

集光光学系 4 は凹面ミラーなどで構成され単色化された光を、試料 S a の上の微小な領域に集中して照射させる作用をもつ。

【0007】

シンクロトロン放射光やレーザープラズマ光源から放射される光の強度は時間的に変動する。すなわちシンクロトロン光源では蓄積された電子の量が時間とともに減衰するため、放射される光の強度が時間とともに減衰する。レーザープラズマ光源では、ターゲットの温度や密度、表面状態などが変化した場合に放射される光の強度が変化する。またレーザープラズマを励起するレーザーの強度が僅かに変動しただけでも放射される光の強度は大幅に変化する。

【0008】

また、分光器 MC は回折格子 3 や反射ミラー 2、スリット S 1、S 2 等の光学素子で構成されており、これらの光学素子の位置や姿勢が変化した場合、出射される光の出射位置や強度は変動する。光学素子の位置や姿勢の変動の原因としては、装置を設置した床の振動や、環境温度の変化などがある。

【0009】

これらの要因のため試料 S a に照射される光の強度は、一定ではなく変動する。光と試料との相互作用を正確に計測するためには、試料に照射される光の強度をモニタすることが必須である。ここではこのための装置を「ビーム強度モニタ」又は「入射光強度モニタ」と呼ぶ。ビーム強度モニタ MO はビームを複数に分割する機能と分割した一つのビームを参照ビームとしてそのビームの強度を検出する手段とを持っている。

【0010】

X 線や E U V 光の波長領域では、ビーム強度モニタとしてビームを複数に分割する機能を持つ素子として可視光領域で用いられるようなハーフミラーやプリズ

ム等のビームスプリッタを用いることが難しい。このため、従来のビーム強度モニタでは穴明きのセンサやメッシュ状の検出器が用いられていた。この検出器は穴のあいた形状のマイクロチャンネルプレートやフォトダイオードなどの検出器であって、穴の大きさより大きいサイズの光ビームを穴の位置に照射する。照射されたビームは、穴を通り抜けたビームと穴の周りに吸収されるビームとに分割される。穴を通り抜けたビームは試料に照射され、穴の周辺に吸収された光は検出器で強度が計測される。ここではこの検出器を仮に第1の検出器7と呼ぶ。

【0011】

試料室TRは試料Saを入射ビームに対して任意の位置と角度に設定するステージや、試料を透過したり試料表面で反射したりした光の強度を測定する第2の検出器8などが設けられている。また、光の吸収を避けるため、試料室内を真空中に排気できる機能を有している。

【0012】

試料Saの反射率の測定は以下の手順で実施される。

【0013】

試料Saを入れない状態で第2の検出器8を用いて光強度を計測する。この値をS120とする。同時に第1の検出器7を用いて光強度を検出する。この値をS110とする。

【0014】

次に試料Saを入れた状態で試料Saで反射された光の強度を第2の検出器8を用いて検出するこの値をS121とする。同時に第1の検出器7を用いて光強度を検出する。この値をS111とする。このとき試料Saの反射率Rは

【0015】

【数1】

$$R = \frac{S121}{S120} \times \frac{S110}{S111}$$

【0016】

として算出される。第2の項のS110/S111は光源の光強度の変動を補正する項であって、光強度の変動がない場合には

$$R = S121 / S120$$

として算出される。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

従来の測定装置のビーム強度モニタでは、照射されたビームのうち穴を通り抜けた光を試料に照射し、穴の周辺に遮られた光を検出器で光強度を計測している。

【0018】

ところが、光源の位置や発光部の大きさの変動や、放射角度の変動、分光器内の回折格子、ミラー、スリットなどの光学素子の位置や角度の変動、などにより、分光器から出射されるビームの位置や、大きさや、強度分布が変化することがある。

【0019】

この為図12に示す従来の測定装置のビーム強度モニタにおいては、第1の検出器7の穴に対してビームの位置や大きさが変動したり、ビーム内の光強度分布が変化したりした場合には、測定値が変化する。

【0020】

たとえば、均一な直径1mmのビームを直径0.8mmの穴径の第1の検出器7で検出した場合、入射ビームの36%が第1の検出器7で検出され、残りの64%が試料Saに照射される。ここでビーム強度は変わらずにビーム径が0.9mmに変化した場合、入射ビームの約21%が第1の検出器7で検出され、残りの約79%が試料Saに照射されるようになる。試料Saに照射される光の強度は1.23倍に増大するにもかかわらず、第1の検出器7で検出されるビーム強度は0.58倍に減少する。すなわちビームサイズが変化した場合には計測に誤差が生じることになる。

【0021】

また、ビームの強度分布が均一ではない場合、第1の検出器7の穴とビームとの位置関係が変化したり、強度分布が変化したりすれば、計測に誤差が生じることになる。

【0022】

本発明は光源からの放射強度やビームサイズそしてビーム強度分布等が変化しても光学素子の光学特性を高精度に測定することができる測定装置の提供を目的とする

【0023】**【課題を解決するための手段】**

請求項1の発明の測定装置は、入射される光束を複数の光束に回折し、のうち0次回折光を試料に導光し、 n 次回折光（ n は0以外の整数）を参照光検出用の光検出器に導光する回折格子を含むビーム強度モニタを用いて該試料の特性を測定することを特徴としている。

【0024】

請求項2の発明は請求項1の発明において前記回折格子からの n 次回折光を前記参照光検出用の光検出器に集光する集光ミラーを有していることを特徴としている。

【0025】

請求項3の発明は請求項2の発明において前記集光ミラーは、凹面トロイダルミラー又はシリンドリカルミラー、球面ミラー、回転楕円面ミラーであることを特徴としている。

【0026】

請求項4の発明は請求項2又は3の発明において前記集光ミラーへの入射光の中心軸と反射光の中心軸とで定まる平面内において該集光ミラーは前記回折格子の中心と前記参照光検出用の光検出器の中心とは、略共役となるようにしていることを特徴としている。

【0027】

請求項5の発明は請求項1から4のいずれか1項の発明において前記回折格子はラミナー型又はブレース型の平面回折格子であることを特徴としている。

【0028】

請求項6の発明の測定装置は光源と、該光源からの光束を分光し所定の波長の光束を出射する分光器と、該分光器からの光束を複数の光束に回折する回折格子

と、該回折格子からの回折光のうち n 次回折光 (n は 0 以外の整数) を参照光検出用の光検出器に導光する集光ミラーと、該回折格子からの 0 次回折光であって試料を介した光を検出する信号光検出用の光検出器と、を有し、該参照光検出用の光検出器と該信号光検出用の光検出器からの出力信号を用いて、該試料の特性を測定することを特徴としている。

【0029】

請求項 7 の発明は請求項 6 の発明において前記分光器の光出射口と前記回折格子の中心とを略共役関係とする曲面反射鏡を有していることを特徴としている。

【0030】

請求項 8 の発明は請求項 6 又は 7 の発明において前記集光ミラーへの入射光の中心軸と反射光の中心軸とで定まる平面内において前記回折格子の中心と前記参照光検出用の光検出器の中心は、略共役であることを特徴としている。

【0031】

【発明の実施の形態】

(実施形態1)

図1は本発明の実施形態 1 の要部概略図である。図 1 は試料として多層膜ミラー S a の反射率を測定する測定装置を示している。

【0032】

図 1 において MC は分光器、MO はビーム強度モニタ (入射光強度モニタ)、TR は試料室である。1 は光源であり、X 線および紫外領域を発光するレーザープラズマ光源より成っている。

【0033】

2 は前置鏡であり、光源 1 からの光を反射集光し、入口スリット S 1 の開口部 S 1 a に導光している。

【0034】

3 は回折格子であり、入口スリット S 1 の開口部 S 1 a からの光のうちから所定の波長の光を出口スリット S 2 の開口部 S 2 a に導光している。

【0035】

4 は後置鏡 (曲面反射鏡) であり、出口スリット S 2 の開口部 S 2 a からの光

を回折格子 5 に導光している。

【0036】

回折格子 5 は後置鏡 4 からの光を回折する。このうち 0 次光を信号光として反射率測定のための試料ステージに載置した試料 S a に導光し、0 次光以外の次数の回折光を参照光として集光ミラー 6 に導光している。

【0037】

試料 S a からの反射光を第 2 の検出器 8 で受光し、集光ミラー 6 からの光をモニター用（参照光検出用）の第 1 の光検出器 7 で受光している。部材 5、6、7 は入射光強度モニタ MO の一要素を構成している。

【0038】

図 1 の実施形態 1 の測定装置を説明する前にビーム強度モニタ MO において、入射光を回折格子 5 を用いて参照光と信号光の強度の比が常に一定となるように分割し、光検出器に導光する光学的作用について説明する。

【0039】

図 7 は反射型の平面回折格子の模式図である。回折格子 5 の溝間隔を d 、光 L 1 の波長を λ 、入射角を α 、回折角を β 、とすると、以下の関係が成り立つ。

【0040】

$$d \times (\sin \beta - \sin \alpha) = m \times \lambda$$

ここで m は回折の次数で整数値をとる。

【0041】

$m = 0$ の場合は 0 次回折光を示し、このとき $\alpha = \beta$ となる。すなわち入射角と回折角が等しく、回折格子 5 の面に対して鏡面反射したのと同じである。この状況は式から明らかなように波長には依らない。これは 0 次の回折と呼ばれる。

【0042】

本実施形態では $m = 0$ の次数の回折光を試料に照射する。回折格子 5 の 0 次以外の次数の回折光を試料に照射した場合には、回折光の波長によって試料上の照射位置が変化してしまい、試料の特性が面内で一様でない場合にはその差による誤差が生じる。また、反射率の測定の場合には、入射角が変化してしまう。さら

に、試料が小さい場合には試料に照射されなくなってしまう、というような問題点が生じる可能性がある。このため、試料に照射される光は、波長によって角度が変化しない 0 次光を用いている。

【0043】

本実施形態のビーム強度モニタ MO では、回折格子 5 からの 0 次以外の次数の回折光を光検出器で検出し、ビーム強度を計測する。

たとえば次数が 1 すなわち $m=1$ の場合は回折条件の式は

$$d \times (\sin \beta - \sin \alpha) = \lambda$$

となり、この式から

$$\sin \beta = \sin \alpha + \lambda / d$$

となる。この式から明らかなように、1 次の回折光の回折角 β は波長 λ によって異なることになる。この関係を図 8 に示す。この計算では、回折格子の溝間隔 d を $1 \mu\text{m}$ 、入射角 α を 80 度と仮定している。また、図 9 にブレード型の回折格子の回折効率の計算結果を示す。ここでも回折格子の溝間隔 d を $1 \mu\text{m}$ 、入射角 α を 80 度と仮定している。波長は 10 nm と 15 nm の 2 条件で計算している。0 次光は波長が異なっても同じ角度に回折されているのに対し、1 次光は波長により異なる角度に回折されることが分かる。

【0044】

1 次の回折光の回折角 β は波長 λ によって異なることから、仮に回折格子から離れた位置に設けられた第 1 の検出器 7 に 1 次回折光をそのまま入射する場合には、第 1 の検出器 7 に入射する位置が波長により異なることになる。測定に用いる波長を変えた場合に検出器上の入射位置が異なれば、検出すべきビームが検出器の受光面に収まらず、正確に検出できないという問題が起こる。またこれを避けようとするれば、非常に大きな受光面の検出器が必要となり、装置の大型化やコストの増大の問題が生じる。

【0045】

そこで本実施形態のビーム強度モニタ MO では、この一次回折光を凹面ミラー 5 で反射させて、測定する光の波長を変化させても、第 1 の検出器 7 の受光面内のほぼ同じ位置に入射するようにしている。

【0046】

即ち回折格子5の入射位置を第一の焦点（物点）、第一の検出器7の受光面中央を第二の焦点（像点）に持つような凹面ミラー6からなる集光素子を用いることにより測定する光の波長を変化させても、第1の検出器7の受光面内のほぼ同じ位置に光が入射するようにしている。

【0047】

第一の検出器7で検出するビームは回折格子5からの1次の回折光に限定されるものではなく、0次以外の次数であれば、任意の次数の回折光でも構わない。この場合も、0次以外の次数の回折光の回折角は波長によって異なるので、回折光を凹面ミラー6で反射させて、測定する光の波長を変化させても、第1の検出器7の受光面内のほぼ同じ位置に入射するようにすればよい。

【0048】

反射型の回折格子としては、ブレース型、ラミナー型など既知の方式の回折格子を用いることができる。また、第一の検出器7で検出される光強度と試料に照射される光強度が所定の比になるように、その形状を選定することができる。

【0049】

図10にブレース型回折格子の異なるブレース角に対する回折効率の計算結果の例を示す。回折格子の溝間隔 d を $1\mu\text{m}$ 、入射角 α を80度、波長は 10nm で計算している。

【0050】

本実施形態では回折格子5によって入射光の光強度が変化しても、0次光と n 次回折光の光強度比が常に一定となる光学性質を利用して、光を分割している。

【0051】

ビーム強度モニタMOでは測定条件に応じて、測定精度が最も高くなるような強度比に分配することが望ましい。たとえば反射率50%程度の試料の反射率を計測する場合、試料に照射される光の強度を、第一の検出器7に照射される光の強度の2倍程度とすれば、測定精度が最も高くなる。

【0052】

回折格子5はブレース型に限定されるものではなく、どのような形式のもので



も構わない。図 11 にラミナー型の回折格子の回折効率の計算結果の例を示す。回折格子の溝間隔 d を $1\ \mu\text{m}$ 、入射角 α を 80° 、波長は $10\ \text{nm}$ 、溝深さ $90\ \text{nm}$ 、デューティー比 0.5 で計算している。ラミナー型回折格子においても同様に、溝深さとデューティー比（溝でない部分の幅と溝ピッチとの比）を最適に選ぶことで各次数の回折効率が変わるので、測定精度が最も高くなるように設定すればよい。

【0053】

次に図 1 の各部材の作用について説明する。

【0054】

一般に多層膜ミラー S_a の反射率は測定光の波長、多層膜ミラー S_a への光の入射角に依存する。そこで本実施形態ではプラズマ光源 1 からは連続波長を持つ発散光が発光するので、光学系を介して、同一の入射角でかつ単色の光を試料 S_a に導いている。前置鏡 2 は光源 1 からの E U V 光を取り込み、光源 1 の像をスリット S_1 の開口部に結像する。ここにスリット S_1 を設置し、その開口部の大きさを調節して、取り込む光源サイズを制限する。回折格子 3 は入射される光を波長により異なる角度に回折するので下流にスリット S_2 を設けることで分光を行なっている。すなわち光源 1 から放射された連続スペクトルの光の中から分光器 MC により単一の波長の光をスリット S_2 に導光し、測定光を選別する。測定条件に応じて回折格子 3 を回動してその波長を任意に設定したり、測定中に波長を予め定めた幅の中で走査したりできるようにしている。前置鏡 2、スリット S_1 、回折格子 3、スリット S_2 の各部材は公知の定偏角モノクロメーター（分光器）MC の一要素を構成している。

【0055】

後置鏡 4 は集光作用を持ち、スリット S_2 の像を試料 S_a 上へ結像する。よって、被測定試料 S_a には集光したかつ単色の光が照射される。試料 S_a と反射光の強度を検出する光検出器 8 は $\theta - 2\theta$ のステージに設置され、これより、試料 S_a の反射率が測定される。前置鏡 2、回折格子 3、後置鏡 4 は X 線領域での全反射を利用するため、通常、斜入射で用いられている。

【0056】

試料 S a の反射率の波長依存性を測定するときは、スリット S 1、S 2 の位置を固定したまま分光器の回折格子 3 を回転し、波長走査を行ない、スリット S 2 の開口部 S 2 a から射出する光の波長を変えている。

【0057】

レーザープラズマ光源 1 では、ターゲットの温度や密度、表面状態などが変化した場合に放射される光の強度が変化する。またレーザープラズマを励起するレーザーの強度が僅かに変動しただけでも放射される光の強度は大幅に変化する。そこで本実施形態では、光源 1 から放射される光の強度変動による計測誤差を補正するために、後置鏡 4 と試料 S a との間の光路中に入射光強度モニタ MO が設けられている。図 2 は図 1 の回折格子 5 以降の拡大説明図である。

【0058】

図 2 に示す入射光強度モニタ MO は反射型の平面回折格子 5 と、凹円筒面ミラー 6 と、第 1 の検出器 7 を有している。平面回折格子 5 は溝間隔 $0.5 \mu\text{m}$ のラミナー型あるいはブレード型の回折格子である。

【0059】

凹面トロイダルミラー 4 で反射した光は回折格子 5 に入射し、0 次回折光は試料 S a に照射される。1 次回折光は円筒面ミラー 6 で反射され、第 1 の検出器 7 に入射する。第 1 の検出器 7 はフォトダイオードである。

【0060】

回折格子 5 (中心点 5 a) から凹面ミラー 6 (中心点 6 a) までの距離を L_1 、凹面ミラー 6 (中心点 6 a) から第 1 の検出器 7 (開口部 7 a) までの距離を L_2 とすれば、異なる波長を持ち回折格子 5 で異なる角度に回折された光が第 1 の検出器 7 の同じ位置に入射する条件は

$$1 \div L_1 + 1 \div L_2 = 1 \div f$$

である。たとえば、 $L_1 = L_2 = 200 \text{ mm}$ の場合、凹面ミラー 6 の焦点距離 $f = 100 \text{ mm}$ となる。

【0061】

凹面ミラー 6 の入射光の光軸と反射光の光軸の 2 つの直線で定まる平面 (X Y 平面) で考えた時の凹面ミラー 6 の曲率半径を R_1 、入射角を θ とすると、凹面

ミラー 6 の焦点距離 f は

$$f = R_1 \div 2 \times \cos(\theta)$$

で表される。したがって、上記条件

$$f = 100 \text{ mm}, \theta = 80^\circ$$

の場合、 $R = 2 \times f / \cos \theta$ より

$$R_1 = 1152 \text{ mm}$$

となる。すなわち凹面ミラー 6 への入射光の光軸（中心軸）と反射光の光軸（中心軸）の 2 つの直線で定まる平面（XY 平面）で考えた時凹面ミラー 6 として曲率半径 1152 mm の凹面鏡を用いればよい。

【0062】

後置鏡 4 で出口スリット S 2 と回折格子 5 を共役関係となるようにし、更に集光ミラー 6 によって回折格子 5 の中心部と第 1 の光検出器 7 の中心部とが略共役関係となるようにして、出口スリット S 2 から単色光が種々の角度で出射しても光検出器 7 の同一位置に参照光が入射するようにしている。

【0063】

上記平面と垂直方向の曲率については、凹面ミラー 6 で反射したビームが第 1 の検出器 7 の受光面に収まるという条件を満たすように決定すればよい。この方向には回折格子 5 において波長による回折角度の差はないので、大きな集光作用を持たせる必要はない。

【0064】

凹面ミラー 6 への入射光の光軸と反射光の光軸の 2 つの直線で定まる平面（XY 平面）に垂直で光の入射点における凹面ミラーの法線を含んだ面（垂直面）で考えた時の曲率半径を R_2 、入射角を θ とすると、垂直面内の焦点距離 f は

$$f = R_2 \div 2 \div \cos(\theta)$$

で表される。斜入射の場合、焦点距離 f は非常に大きくなり、この方向には大きな集光作用を持たないことになる。そこで $R_1 = R_2$ とした球面鏡や $R_2 = \infty$ としたシリンドリカル面鏡などを用いることができる。凹面ミラー 6 として厳密に第一の検出器 7 の受光面で集光するようにトロイダル面鏡、あるいは回転楕円面ミラーを用いてもよい。このときそれぞれの方向の曲率半径 R_1 、 R_2 は通常の

光線追跡（レイトレース）法などにより最適化すればよい。この他回転非対称な曲面より成る凹面鏡を用いてもよい。

【0065】

ここまでの説明では、入射光強度モニタMOに入射するビームの角度発散を考慮していない。実際の反射率を測定する光学系では、後置鏡4によってビームは集光作用をうけ、試料Sa上の小さな領域に光が集中するようになっている。図3はこのときの状況の概略図である。入射光強度モニタMOに入射するビームが収束ビームである場合には、上記のように、異なる波長を持ち回折格子5で異なる角度に回折された光が検出器7の同じ位置に入射する条件を満たすように配置された光学系では、第1の検出器7に入射する手前で光線が交差し、検出器7の上の集光サイズは大きくなる。このような場合には、凹面集光ミラー6の焦点距離fを

$$1 \div L_1 + 1 \div L_2 = 1 \div f$$

で求められる焦点距離よりも長い焦点距離とすることで、検出器7の上での集光サイズを小さくできる。但し、その場合には、波長走査に伴う集光位置の変化が大きくなる。そこで、集光サイズと波長走査に伴う集光位置の変化をあわせて、検出器7の受光面上の最大照射領域を考え、これを最小となるように凹面集光ミラーの焦点距離を設定すればよい。具体的には、通常の光線追跡（レイトレース）法などにより最適化すればよい。

【0066】

また、入射光強度モニタMOの回折格子5の1次回折光が第1の検出器7に入射するとしたが、これはこの次数に限定されるものではなく、0次以外の任意の次数の光で構わない。図4は回折格子5の-1次回折光を第1の検出器7に入射する概略図である。回折格子5の1次回折光が第1の検出器7に入射する例では凹面集光ミラー6の後ろ側を試料Saに向かうビームが通過するために凹面集光ミラー6の厚さを薄くする必要があったが、回折格子5の-1次回折光が第1の検出器7に入射する例では凹面集光ミラー6の後ろ側をビームが通過しないために凹面集光ミラー6の厚さに対する制限がなくなる。このためミラーの製造や保持の方法に対する自由度が高くなる。

【0067】

但し、何れの場合においても、試料 S a に照射される光は、波長変更による照射位置の変化を避けるために、入射光強度モニタ MO の回折格子 5 の 0 次回折光である必要がある。

【0068】

試料室 TR は試料 S a を入射ビームに対して任意の位置と角度に設定するステージや、試料 S a を透過したり試料 S a の表面で反射したりした光の強度を測定する第 2 の検出器 8 などが設けられている。また、光の吸収を避けるため、試料室 TR 内を真空中に排気できる機能を有している。

【0069】

第 2 の検出器 8 としては、フォトダイオード、電荷結合型撮像素子 (CCD)、マイクロチャンネルプレート (MCP)、電子増倍管、比例計数管など、通常用いられる検出器 7 を用いることができる。

【0070】

尚、本実施形態において、集光ミラー 6 を用いなくてもよい。このときは分光器 MC から出射したビームの位置や角度が変化すると検出器 7 の検出面内でも光の入射位置が変化する。このときは、これに伴う計測誤差ができるだけ小さくなるように、検出器 7 としては、できるだけ面内の感度が一様な検出器 7 が望ましい。また CCD や MCP など、位置分解能を有する検出器を用いた場合には、ビームの入射位置の関数として検出器の感度を予め測定しておいて、実際の測定時には測定された光強度の値とその入射位置から、先に求めた関数を用いて感度補正を行うことができ、さらに計測精度を向上することができる。

【0071】

試料 S a の反射率の測定は以下の手順で実施される。まず試料 S a を入れない状態で、第 2 の検出器 8 を用いて光強度を計測する。この値を S 1 2 0 とする。同時に入射光強度モニタ MO の第 1 の検出器 7 を用いて光強度を検出する。この値を S 1 1 0 とする。

【0072】

次に試料 S a を入れた状態で試料 S a で反射された光の強度を第 2 の検出器 8

を用いて検出する。この値を S_{121} とする。同時に入射光強度モニタ MO の第 1 の検出器 7 を用いて光強度を検出する。この値を S_{111} とする。

試料 S a の反射率 R は

【0073】

【数 2】

$$R = \frac{S_{121}}{S_{120}} \times \frac{S_{110}}{S_{111}}$$

【0074】

として算出される。第 2 の項の (S_{110}/S_{111}) は光源 1 の光強度の変動を補正する項である。

【0075】

この測定を分光器 MC の回折格子 3 の角度を変更することで試料 S a に照射される光の波長を変えながら繰り返して行う。この一連の測定によって、試料 S a の反射率の波長依存性 $R(\lambda)$ を精度よく測定することができる。

【0076】

また、別の手順として以下の方法でもよい。まず、試料 S a を入れない状態で波長走査を行い第 2 の検出器 8 を用いて光強度を計測する。この値を $S_{120}(\lambda)$ とする。同時に入射光強度モニタ MO の第 1 の検出器 6 を用いて光強度を検出する。この値を $S_{110}(\lambda)$ とする。次に試料 S a を入れた状態で波長走査を行い試料 S a で反射された光の強度を第 2 の検出器 8 を用いて検出する。この値を $S_{121}(\lambda)$ とする。同時に入射光強度モニタ MO の第 1 の検出器 6 を用いて光強度を検出する。この値を $S_{111}(\lambda)$ とする。

【0077】

試料 S a の反射率の波長依存性 $R(\lambda)$ は

【0078】

【数 3】

$$R = \frac{S_{121}(\lambda)}{S_{120}(\lambda)} \times \frac{S_{110}(\lambda)}{S_{111}(\lambda)}$$

【0079】

として算出される。第2の項の $(S_{110}(\lambda) / S_{111}(\lambda))$ は光強度変動を補正する項である。

【0080】

本実施形態においては、入射光強度モニタMOに対して入射光の位置、入射光角度、入射光形状、入射光サイズ、等が変動した場合でも、回折格子5によって常に一定の割合に入射光が分割され、一方が試料S aに照射され、他方が凹面集光ミラー6によって反射されたのちに波長に依らず検出器7の受光面内のほぼ同一の位置に照射される。したがって、試料S aに照射される入射光の強度の変動を入射光強度モニタMOにより正確に計測することができる。この光学装置によれば、光源1から放射される光の強度変動や、分光器MCの光学素子2、3の変動等が生じた場合においても、その変動を正確に補正することが可能になり、試料S aの反射率や透過率等の特性を精度よく測定することが可能になる。

【0081】

また、試料S aには入射光強度モニタMOの回折格子5で回折した0次回折光が照射されるため、波長によって照射位置や角度が変化することがなく、試料S aを同一条件で測定することができる。このため測定精度が高いという利点や、小さな試料S aの計測が可能であるという利点がある。

【0082】

(実施形態2)

図5は本発明の実施形態2の要部概略図である。図5は光電子分光を利用して試料S aの特性を測定する装置を示している。

【0083】

光電子分光は真空中に置かれた試料S aに高エネルギーの単色光を照射し、外部光電効果によって放出される光電子のエネルギースペクトルを測定する手法である。図5は光電子分光器MCの測定系の要部を示している。装置の主な構成要素は、プラズマ光源1、分光器MC、回転ステージ、光電子エネルギー分析器TRである。

【0084】

光源1からの光は、実施形態1の反射率の測定装置と同様な構成で、分光器M

Cにより単色化され、入射光強度モニタMOを介して試料S aに照射され、試料S aから出てきた光電子を光検出器8で検出し、演算手段9で解析することで試料S a固有の情報を得ている。

【0085】

図6は実施形態2の光学装置の入射光強度モニタMOの概略図である。

【0086】

入射光強度モニタMOは透過型の平面回折格子5 aと、凹円筒面ミラー6と、第1の検出器7を有している。透過型の平面回折格子5 aは溝間隔 $0.2\mu\text{m}$ の自立した金属の格子で形成されている。

【0087】

後置鏡4で反射した光は透過型の平面回折格子5 aに入射し、真っ直ぐに通り返された0次回折光は試料S aに照射される。1次回折光($m=1$)は円筒面ミラー6で反射され、第1の検出器7に入射する。第1の検出器7はフォトダイオードである。

【0088】

実施形態2においては、入射光強度モニタMOに対して入射光の位置、入射光角度、入射光形状、入射光サイズ、等が変動した場合でも、透過型の平面回折格子5 aによって常に一定の割合に入射光が分割され、一方が試料S aに照射され、他方が凹面ミラー6によって反射されたのちに波長に依らず第1の検出器7の受光面内のほぼ同一の位置に照射される。したがって、試料S aに照射されるビーム(光)の強度の変動を入射光強度モニタMOにより正確に計測することができる。この光学装置によれば、光源1から放射される光の強度変動や、分光器MCの光学素子の変動(位置の変動や、光学特性の変動)等が生じた場合においても、その変動を正確に補正することが可能になり、試料S aの光電子スペクトル等の特性を精度よく測定することができる。

【0089】

また、試料S aには入射光強度モニタMOの回折格子5 aで回折した0次回折光が照射されるため、波長によって照射位置や角度が変化することがなく、試料S aを同一条件で測定することができる。このため測定精度が高いという

利点や、小さな試料 S a の計測が可能であるという利点がある。

【0090】

尚、本発明に係るビーム強度モニタは X 線（軟 X 線）を試料に入射させ、該試料を反射又は透過する光（電磁波）を検出して、試料を測定する装置であればどのような装置にも適用できる。例えば反射率の測定装置や、光電子分光器に限るものでなく、分光測定が必要な反射型 X A F S、蛍光 X A F S、X 線小角散乱、軟 X 線分光計、X 線回折、X P S、A E S、R H E E D、R E E D 等に適用できる。

【0091】

【発明の効果】

本発明によれば光源からの放射強度やビームサイズそしてビーム強度分布等が変化しても光学素子の光学特性を高精度に測定することができる測定装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 本発明の実施形態 1 の要部概略図
- 【図 2】 図 1 の一部分の拡大説明図
- 【図 3】 図 1 の一部分の拡大説明図
- 【図 4】 図 1 の一部分の他の実施形態の説明図
- 【図 5】 本発明の実施形態 2 の要部概略図
- 【図 6】 図 5 の一部分の拡大説明図
- 【図 7】 回折格子と光線との関係説明図
- 【図 8】 波長と回折角との関係説明図
- 【図 9】 ブレーズ型回折格子の回折効率の説明図
- 【図 10】 ブレーズ型回折格子の回折効率の説明図
- 【図 11】 ラミナー型回折格子の回折効率の説明図
- 【図 12】 従来例の反射率測定装置の概略図

【符号の説明】

- 1 光源
- 2 前置鏡

3、5 回折格子

4 後置鏡

6 集光ミラー

7 第 1 の光検出器

8 第 2 の光検出器

S 1 入口スリット

S 2 出口スリット

MC 分光器

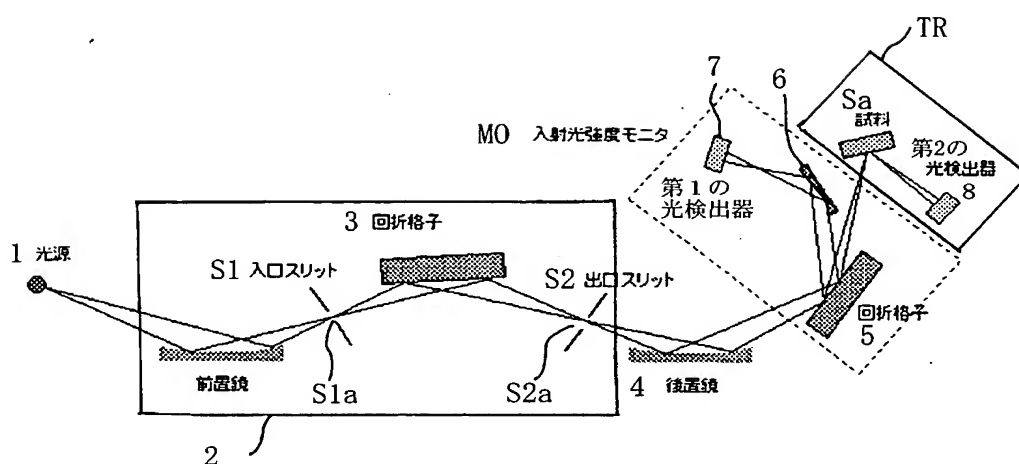
MO ビーム強度モニタ

TR 試料室

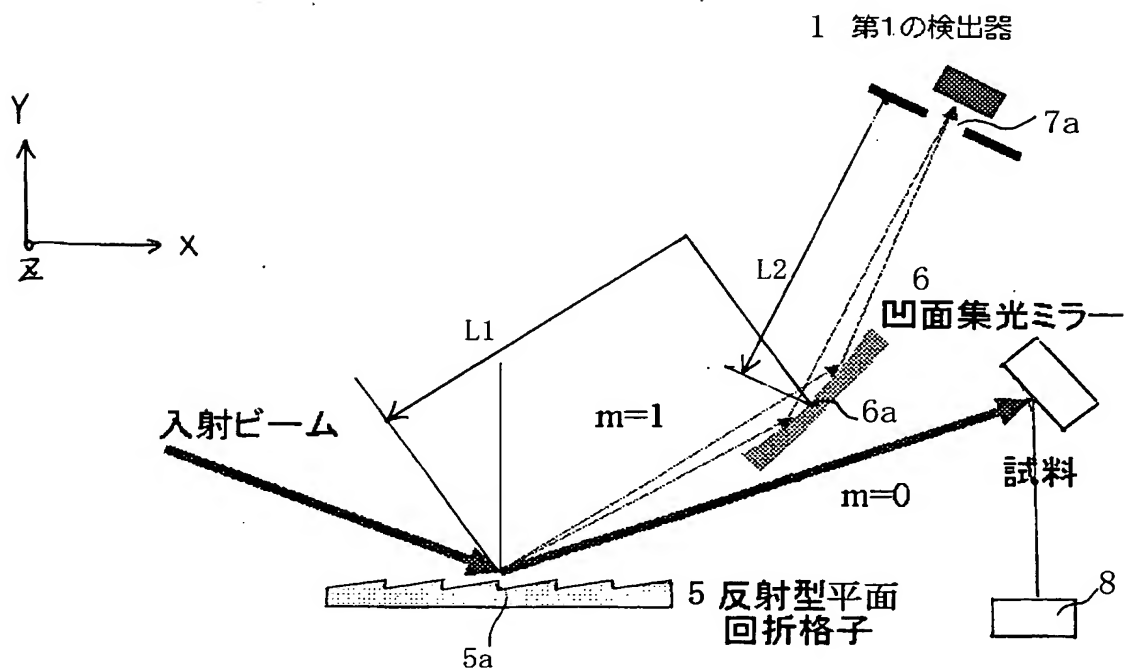
S a 試料

【書類名】 図面

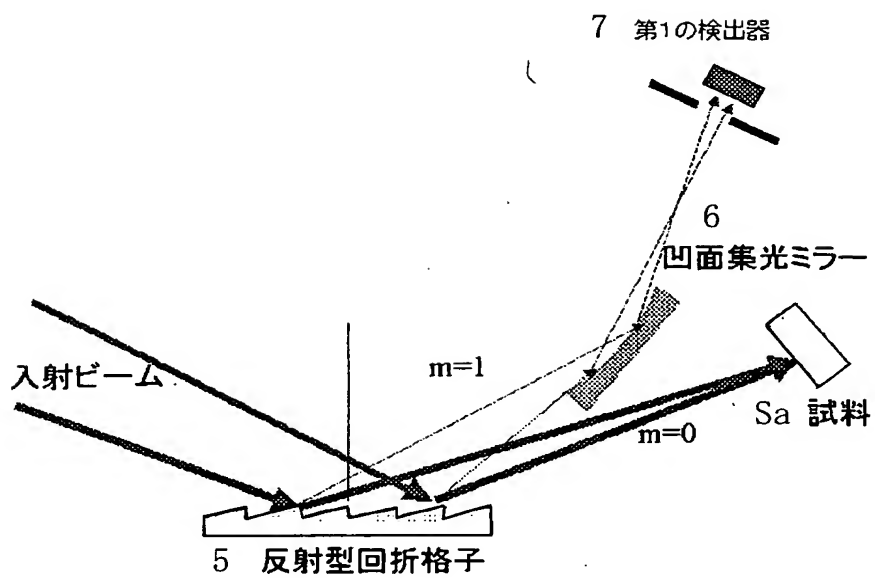
【図 1】



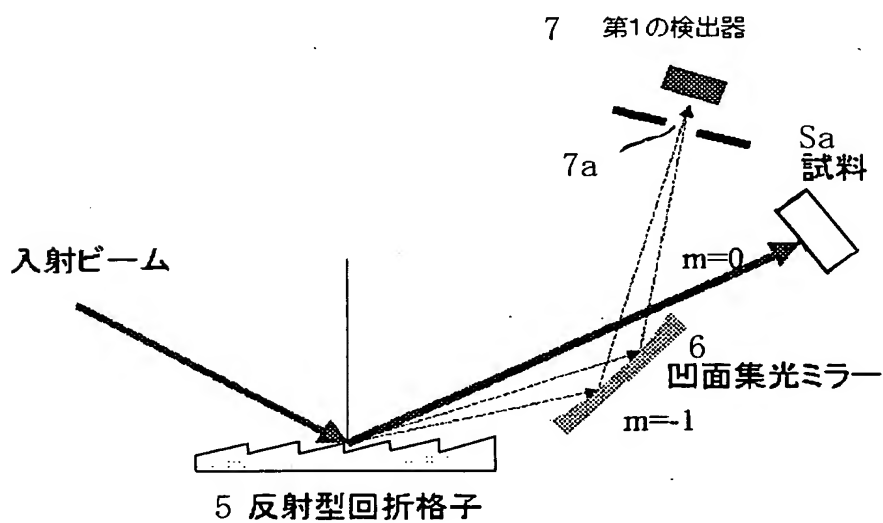
【図 2】



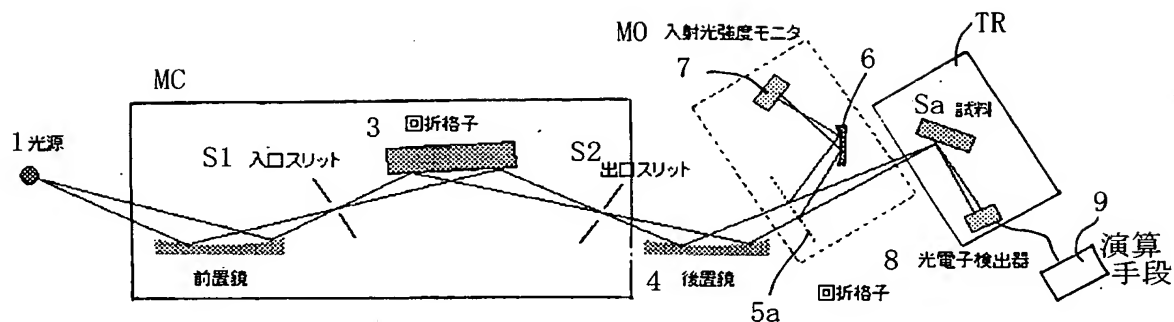
【図 3】



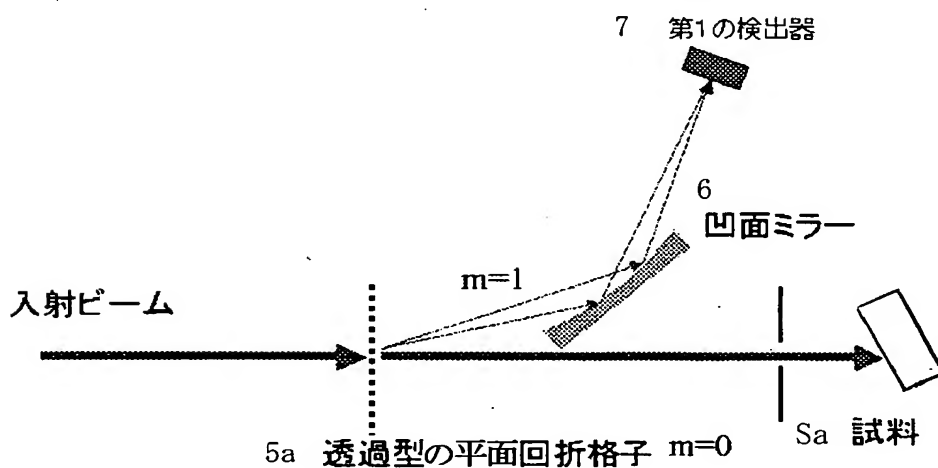
【図 4】



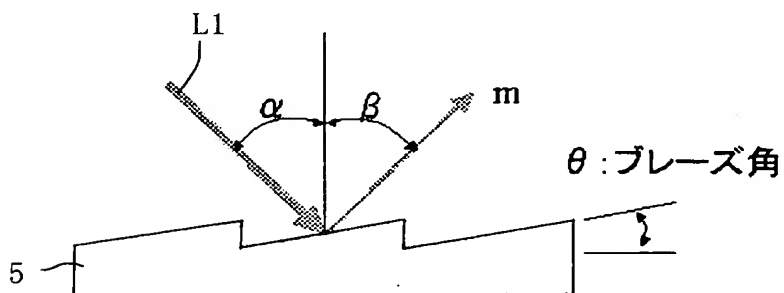
【図5】



【図6】

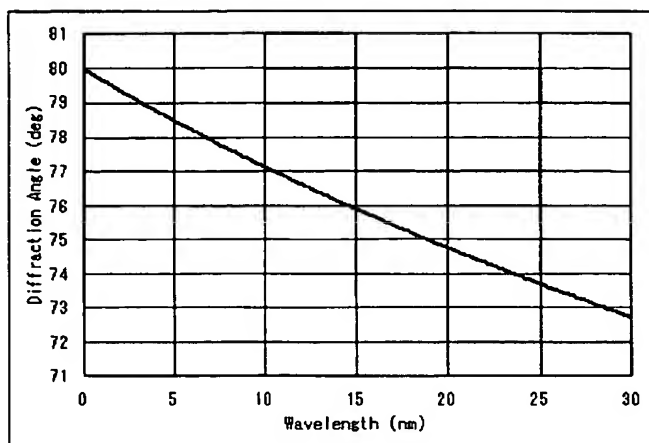


【図7】



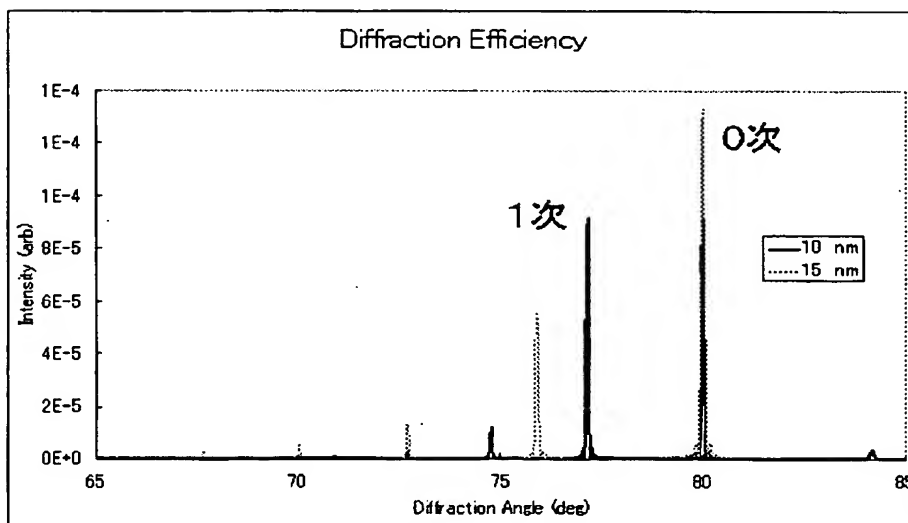
【図 8】

波長と回折角との関係



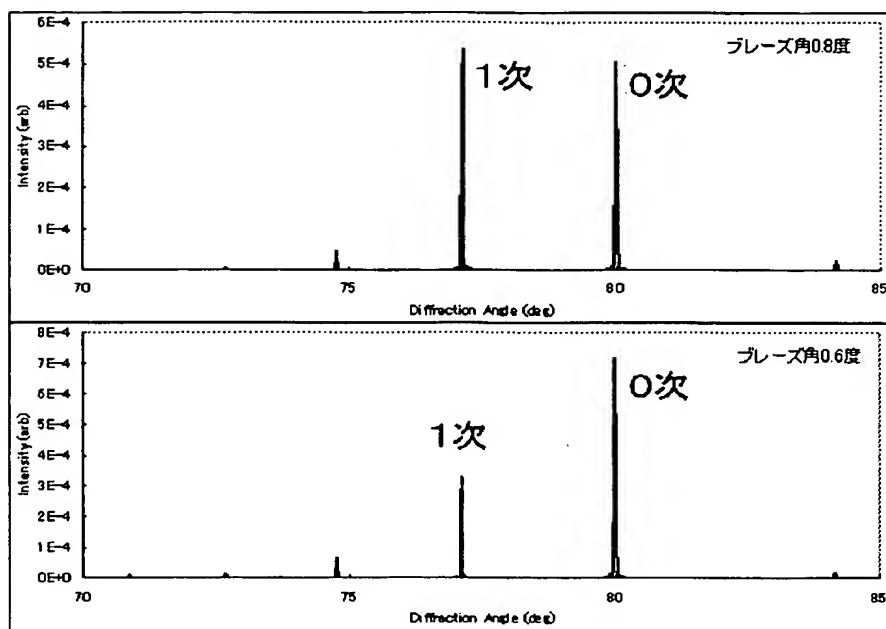
【図 9】

ブレース型回折格子の回折効率



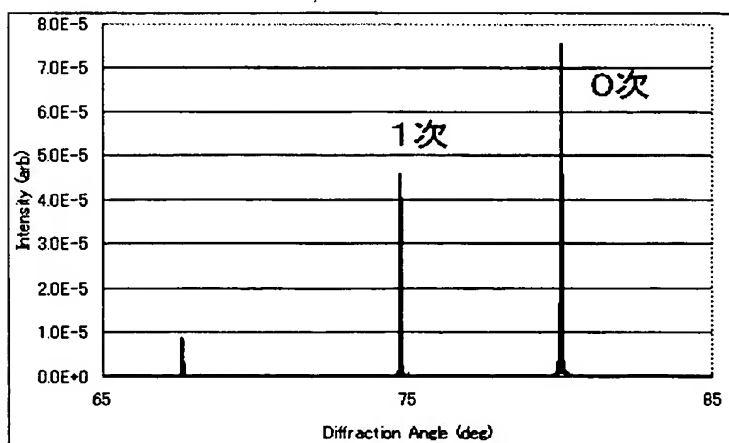
【図 10】

ブレード型回折格子の回折効率



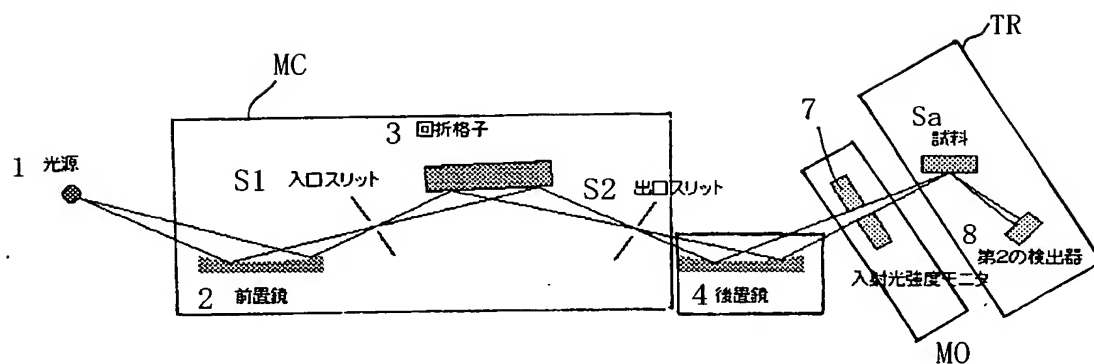
【図 11】

ラミナー型回折格子の回折効率



【図 12】

従来例の反射率測定装置



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光源からの放射強度やビームサイズそしてビーム強度分布等が変化しても光学素子の光学特性を高精度に測定することができる測定装置を得ること。

【解決手段】 入射される光束を複数の光束に回折し、このうち 0 次回折光を試料に導光し、 n 次回折光（ n は 0 以外の整数）を参照光検出用の光検出器に導光する回折格子を含むビーム強度モニタを用いて該試料の特性を測定すること。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 2 0 4 2 3 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号

氏 名

キャノン株式会社